NOTICE

SUR LES TRAVAUX

DE

M. Alfred PICARD,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DE 1re CLASSE DES PONTS ET CHAUSSÉES,
PRÉSIDENT DE LA SECTION DES TRAVAUX PUBLICS, DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE
ET DE L'INDUSTRIE AU CONSEIL D'ÉTAT.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

—

1901

NOTICE
SUR LES TRAVAUX

DE

M. ALFRED PICARD,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DE 1re CLASSE DES PONTS ET CHAUSSÉES,
PRÉSIDENT DE LA SECTION DES TRAVAUX PUBLICS, DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE
ET DE L'INDUSTRIE AU CONSEIL D'ÉTAT.

I. — Mission en Égypte
(1867-1868).

A sa sortie de l'École des Ponts et Chaussées, M. Picard a été chargé d'une mission officielle en Égypte et spécialement au Canal maritime de Suez, dont les travaux étaient alors en pleine exécution.

Il en a rendu compte dans un Rapport rédigé avec la collaboration de M. Agnellet, aujourd'hui décédé.

Ce Rapport, déposé à la bibliothèque de l'École des Ponts et Chaussées, se compose d'un volume de texte in-quarto (1100 pages) et d'un album.

Outre la description circonstanciée des travaux du Canal de Suez, il comprend une série d'études personnelles plus particulièrement intéressantes au point de vue scientifique ou technique : régime du Nil; navigation dans la mer Rouge; géologie de l'isthme de Suez; mouvement des alluvions sur le littoral de la Méditerranée, à la base

du Delta ; cultures de l'Égypte ; déplacement des sables dans le désert ; formation, mobilité et fixation des dunes ; principes à suivre dans la construction et l'emploi des dragues ordinaires, des dragues à long couloir, des gabares à clapets latéraux ou à clapets de fond et des bateaux-porteurs destinés à l'évacuation des produits du dragage, des excavateurs travaillant à sec, des excavateurs travaillant sous l'eau, des élévateurs, des plans inclinés.

II. — Travaux du Canal des Houillères de la Sarre et du Canal des Salines de Dieuze

(1868-1870).

Envoyé à Metz comme ingénieur, M. Picard y a été chargé des travaux d'achèvement du Canal des Houillères de la Sarre, ainsi que de la construction du Canal des Salines de Dieuze.

Le Canal des Houillères de la Sarre, établi pour mettre le bassin houiller de Sarrebrück en communication avec les départements de l'Est, présentait une longueur de 76^{km} entre le Canal de la Marne au Rhin et l'extrémité aval de la Sarre canalisée mitoyenne. Bien que terminé dans son gros œuvre, il nécessitait encore des travaux importants, en particulier pour son alimentation par des prises d'eau dans la Haute-Sarre et par le réservoir de Gondrexange.

Quant au Canal des Salines de Dieuze (19^{km}), il avait un double objet : 1° relier les grandes Salines de Dieuze au réseau des voies navigables de l'Est ; 2° concourir à la défense du territoire en permettant d'envoyer vers Metz, pour tendre les inondations aux abords de cette place, les eaux de la Sarre, du réservoir de Gondrexange et du réservoir de Mittersheim.

Ces travaux s'exécutaient quand survinrent la guerre et l'invasion de 1870.

Dès la déclaration de guerre, M. Picard fut chargé de jeter des ponts provisoires sur la Sarre, près de Sarreguemines, pour le passage

de l'armée française, puis de les enlever préeipitamment le soir de la bataille de Forbaeh.

Pendant le siège de Metz, il prêta son eoncours à l'autorité militaire, notamment pour l'inondation défensive de la plaee et pour l'installation de moulins.

III. — Travaux militaires dans l'Est
(1871-1876).

Après la reddition de Metz, M. Pieard parvint à s'éehapper par la Suisse et à rejoindre l'armée de la Loire, pour y prendre du serviee. Puis le Ministre des Travaux publies l'appela à la résidence de Naney.

L'autorité allemande ayant exigé l'éloignement des officiers et agents du Génie qui avaient été envoyés avee son eonsentement à Verdun pour diriger les travaux de réparation des bâtiments militaires, M. Pieard reçut la mission de les suppléer.

A ee titre, il dut non seulement proeéder à la remise en état des bâtiments militaires, mais eneore eonstruire en moins de deux mois, à Verdun, Étain et Clermont-en-Argonne, des easernements provisoires représentant une dépense d'un million de franes et affeetés au renforeement des garnisons allemandes d'oeeupation dans le département de la Meuse, lors de l'évaeuation de la Marne et de la Haute-Marne. Malgré des diffieultés de toute sorte, malgré les embarras d'une grève ouvrière, eette opération, à laquelle M. Thiers ne eessait de s'intéresser personnellement, put être aehevée à l'heure dite ; elle eontribua effieaeement à hâter la libération du territoire et à éviter aux villes de la région un eantonnement qui aurait pu avoir des eonséquenees désastreuses.

M. Picard eut également à eollaborer aux études des ouvrages de défense dont le Gouvernement se proposait de doter Verdun et les eôtes de la rive droite de la Meuse.

Le Ministre de la Guerre et le Ministre des Travaux publics lui confièrent aussi l'étude de l'alimentation en eau des nouveaux forts de Meurthe-et-Moselle. Parmi les installations faites à la suite de cette étude, il en est une qui mérite d'être signalée : celle de l'alimentation du fort de Saint-Michel, à Toul. Elle comportait, en effet, le refoulement des eaux de la Moselle à 180^{m} d'altitude au-dessus de la vallée, c'est-à-dire à la plus grande hauteur qui eût été jusqu'alors atteinte. Ses organes essentiels étaient : 1° une turbine à libre déviation et à veine détachée du type Fontaine-Baron, modifié par Girard ; 2° une pompe horizontale à double effet, du modèle Girard ; 3° une conduite ascensionnelle en fonte de 1800^{m} de longueur. L'intensité de la pression à la base, qui ne descendait pas à moins de 18^{atm} et qui pouvait aller à 20^{atm}, sous l'action des coups de bélier, exigea des dispositions spéciales pour les machines et pour la conduite ascensionnelle. Des expériences minutieuses montrèrent que le joint à emboîtement, convenablement établi, offrait le maximum d'étanchéité. Les épreuves, faites en jaugeant l'eau motrice au moyen d'un déversoir et en mesurant à l'aide du frein de Prony le travail disponible sur l'arbre, ont conduit aux résultats suivants :

1° Le rendement s'élevait à près de 0,80 quand la turbine était dénoyée;

2° Il s'abaissait rapidement dès que la turbine se trouvait noyée, et tombait à 0,65 pour une immersion de $0^{m},60$ comptée à partir de la face inférieure du récepteur;

3° Les changements dans la fraction d'admission ne le modifiaient pas d'une manière sensible ;

4° De même, les variations dans la vitesse de rotation le laissaient à peu près constant, pourvu que cette vitesse ne s'écartât pas trop de la normale.

IV. — Construction du réservoir de Paroy
(1875-1878).

Attaché au service du Canal de la Marne au Rhin de 1874 à 1878, M. Picard a construit à Paroy, près de la nouvelle frontière allemande, un réservoir destiné à l'alimentation du versant de la Meurthe entre cette frontière et Dombasle, point d'aboutissement d'une prise d'eau dans la Meurthe.

Le nouveau réservoir était nécessité par la mainmise des Allemands sur les réservoirs supérieurs. A la vérité, une convention internationale de 1873 garantissait à la France la fourniture de l'eau nécessaire au maintien d'un mouillage de $1^m,60$. Mais l'administration française n'avait aucun contrôle sur l'aménagement et l'emploi des ressources disponibles; d'autre part, le mouillage devait être porté à 2^m, ce qui allait inévitablement entraîner un supplément considérable de dépense d'eau; enfin les chômages allemands, dont la conséquence était une interruption temporaire de l'alimentation, ne coïncidaient pas avec les chômages ordinaires de la section française, et cette seule circonstance suffisait à exiger la création de ressources indépendantes.

Préalablement à la rédaction du projet, il a fallu procéder à une étude approfondie du régime des pluies et de l'évaporation dans la contrée, puis dresser jour par jour le bilan du futur réservoir en compensant, jusqu'à due concurrence, ses recettes et ses dépenses (alimentation du canal, évaporation superficielle du réservoir, écoulement du trop-plein par-dessus le déversoir). Cette étude, faite pour une période de trois années consécutives de sécheresse exceptionnelle comme 1857, 1858, 1859, suivie d'une année pluvieuse, a été extrêmement délicate, en même temps qu'intéressante au point de vue de la météorologie; elle a reçu une traduction graphique qui peut servir de modèle dans les cas analogues.

La longueur du réservoir de Paroy est de 1800^m, sa largeur maxi-

mum de 1^{km}, sa surface au niveau de la retenue de 73^{ha}, sa profondeur maximum en contre-bas du même niveau de $5^{m},55$, la superficie de son bassin alimentaire de 1200^{ha} environ. Il se trouve dans l'étage des marnes irisées.

A peu près rectiligne, la digue a un développement de 420^{m}. Elle est en terre avec revêtement maçonné à gradins indépendants et s'enracine fortement dans le coteau, à ses deux extrémités, de manière à ne pas être tournée par les eaux; les risbermes ont reçu une grande puissance, en raison des dangers auxquels est exposé le revêtement sous le choc des glaçons poussés par un vent violent; la murette inférieure repose sur un mur de garde descendant jusqu'au terrain absolument imperméable.

Une couche épaisse de vase existait à l'emplacement de la digue; on a dû l'enlever. Toute la partie antérieure du corps de la digue a été constituée par de la terre sableuse énergiquement corroyée. Un rouleau spécial et nouveau, armé de deux séries de disques en fonte se recoupant et d'un dispositif pour le retournement de l'attelage, a été imaginé en vue du corroyage des remblais.

Au lieu d'être séparés suivant l'usage, le déversoir, la bonde de fond et la prise d'eau ont été réunis en un ouvrage unique. Entre autres avantages, cette innovation présentait le mérite de diminuer les dépenses et surtout de réduire au minimum le nombre des points de contact entre les maçonneries et les remblais, c'est-à-dire des points dangereux où se produisent toujours les filtrations. Le déversoir a reçu en plan une forme demi-circulaire : cette forme assure une meilleure résistance à la poussée de l'eau et procure une économie sur le cube des maçonneries. Grâce à la division de la chute en deux étages, on a pu, à la fois, atténuer l'effet destructeur des eaux sur les radiers et amoindrir l'épaisseur des murs.

Le calcul de la longueur à attribuer au déversoir a été fait par les formules ordinaires de l'Hydraulique. En désignant par x la hauteur de la retenue à l'instant t,

dx son accroissement pendant le temps dt,
s la surface du réservoir,
l la longueur du déversoir,
q le produit du bassin par seconde,

on a la relation $dt = \frac{s\,dx}{q - 0,40\, lx\sqrt{2gx}}$, et l'intégration de cette fonction rationnelle montre qu'une pluie diluvienne de 36 heures ne déterminerait pas un relèvement de $0^{m},20$.

V. — Travaux sur la Meurthe navigable (1876-1877).

La région basse de Nancy étant envahie par les inondations de la Meurthe, M. Picard a projeté et exécuté différents travaux pour y remédier, notamment un bras de décharge. Il ne veut insister ici que sur une opération d'une difficulté et d'un intérêt exceptionnels, l'abaissement du radier du pont de Malzéville.

Ce pont réunit Nancy à la commune suburbaine de Malzéville ; son débouché linéaire est de 159^{m} et son débouché superficiel, en contrebas des plus hautes crues, de 472^{m2}. Il a été construit, de 1498 à 1500, par deux maîtres maçons du nom de Vauthier, moyennant 1600^{fr} de Lorraine et 10^{fr} de vin : les ponts coûtaient alors moins cher qu'aujourd'hui. Ses fondations se composaient de pilotis fichés dans les alluvions de sable et n'atteignant point, en général, les marnes inaffouillables du sous-sol ; les maçonneries étaient assises à très peu près au niveau de l'étiage d'amont; un radier général en enrochements s'étendait entre les piles.

Par suite des dragages incessants effectués dans la Meurthe au-dessous de Malzéville, une chute considérable s'était créée au droit de l'ouvrage, dont la situation devenait fort précaire et qui menaçait de s'écrouler ; le radier général formait, d'ailleurs, un véritable barrage

faisant refluer les crues à l'amont et contribuant aux inondations de Nancy.

Le défaut de ressources ne permettait pas d'envisager l'hypothèse de la démolition et de la reconstruction du pont. Conformément au projet qui lui avait été soumis, le Ministre des Travaux Publics prescrivit de reprendre les piles en sous-œuvre, de les rempiéter en maçonnerie sur une hauteur variant de $1^m,80$ à $3^m,90$ et d'établir un radier maçonné concave ayant ses naissances à $1^m,10$ ou $2^m,55$ au-dessous du niveau des enrochements anciens, suivant la position des arches.

A peine est-il besoin de dire les précautions, les soins minutieux, les sujétions de toute nature que comporta cette reprise par la partie inférieure d'un pont en équilibre presque instable, à travers des pieux déracinés ou pourris, dans un sol affouillé et mobile, avec des venues d'eau contre lesquelles les épuisements luttaient péniblement. On dut procéder par petits compartiments, réaliser une véritable marqueterie, recourir à des expédients sans cesse renouvelés et appropriés aux nécessités du moment. Le succès final fut complet.

VI. — Contrôle de l'exploitation des Chemins de fer de l'Est (1872-1880).

Étude sur les effondrements dus à l'exploitation du sel gemme par dissolution.

De 1872 à 1880, M. Picard exerça, à Nancy, le contrôle de l'exploitation des Chemins de fer de l'Est. Sans s'arrêter aux nombreux travaux relevant de ce contrôle, il se bornera à mentionner une question d'un caractère scientifique, qui a dû solliciter toute son attention.

D'immenses gisements de sel gemme existent sous la vallée de la Meurthe et la vallée du Sanon. Certains de ces gisements étaient exploités par galeries réservant des piliers d'une section suffisante pour soutenir les terrains supérieurs : les concessionnaires pouvaient,

sans danger, passer même sous les grandes voies de transport telles que le Chemin de fer de l'Est et le Canal de la Marne au Rhin, pourvu que les proportions du damier dessiné par les galeries fussent convenablement calculées et que le procédé de débitage au moyen de jets d'eau douce fût proscrit, ou du moins appliqué avec prudence. Mais le mode d'exploitation le plus répandu, consistant à extraire le sel par dissolution, présentait, au contraire, des périls redoutables.

La méthode, ramenée à ses traits essentiels, est la suivante : on pratique un sondage jusqu'à la couche à exploiter et l'on introduit dans ce sondage un tuyau d'aspiration; l'eau douce des niveaux aquifères descend autour du tuyau, dissout le sel et glisse, en vertu de sa densité, vers le fond de l'excavation, c'est-à-dire vers la base du tuyau d'aspiration dans lequel elle s'élève de manière à équilibrer la colonne extérieure ; on l'élève jusqu'au jour et on la soumet à la vaporisation.

Un lac souterrain d'eau à demi saturée dans sa masse générale se forme et s'étend peu à peu au fur et à mesure de l'extraction. Théoriquement, si la couche de sel est horizontale, homogène et d'épaisseur constante, le lac affecte la forme d'une cuvette à contour circulaire et à profil concave. Son allure peut, d'ailleurs, être modifiée par beaucoup de circonstances, telles que l'inclinaison de la couche, les variations dans la pureté du sel gemme, les fissures naturelles du sol livrant passage aux eaux douces supérieures, etc. Quoi qu'il en soit, un moment arrive où le développement de l'excavation provoque l'effondrement de la surface, souvent sans qu'aucun signe précurseur ait pu faire prévoir la catastrophe.

A la suite d'accidents de ce genre, le Ministre des Travaux Publics dut se préoccuper des dangers auxquels étaient exposés le Chemin de fer de Paris à Strasbourg et le Canal de la Marne au Rhin, près desquels se trouvaient de nombreuses exploitations par dissolution.

L'ingénieur des Mines et l'ingénieur du Contrôle des chemins de fer reçurent la mission de procéder à une vaste enquête sur toutes les salines de la région et de formuler des propositions sur les mesures commandées par la sécurité publique. Des recherches théoriques et

des investigations pratiques les amenèrent aux eonelusions suivantes :

1° Pour une eouehe horizontale, régulière et homogène, le rayon R du lae souterrain était lié au nombre de tonnes de sel raffiné déjà produit T et à l'épaisseur du bane exploité h par la relation

$$R = \sqrt{\frac{0,352\,T}{h}}.$$

Le poids du eylindre vertieal déeoupé dans les terrains supérieurs suivant le périmètre du lae l'emportait sur la sous-pression de l'eau et l'adhérenee latérale lorsque le rayon du lae dépassait le double de la hauteur du sol au-dessus du lae.

Il y avait, dès lors, un intérêt évident à ehoisir, pour la dissolution, la eouehe la plus profonde et la plus épaisse.

2° Eu égard à l'impossibilité de connaître les eireonstanees loeales influant sur l'allure du lae, la seule mesure de séeurité offrant des garanties sérieuses eonsistait à pratiquer des sondages d'exploration aux abords du ehemin de fer ou du eanal et à arrêter l'exploitation aussitôt que l'aseension de l'eau salée dans ees sondages aeeuserait l'arrivée du lae.

Ces sondages pouvaient être ajournés pour les salines n'ayant eu eneore qu'une produetion restreinte ou ayant leur forage à une distanee telle des voies de eommunieation que l'effondrement dût eertainement avoir lieu avant l'extension du lae jusqu'à la zone eontiguë à ees voies. Ils devaient être immédiats pour les autres.

Telle était la substanee du rapport des ingénieurs, qui passaient d'ailleurs en revue toutes les exploitations par dissolution et leur faisaient l'applieation des prineipes.

Ce rapport eontenait, en outre, des renseignements utiles eoneernant les exploitations analogues, à l'étranger.

VII. — Exhaussement du mouillage du Canal de la Marne au Rhin
(1874-1880).

Une loi du 24 mars 1874 et un décret du 8 novembre 1877 avaient décidé l'augmentation du mouillage et l'allongement des écluses du Canal de la Marne au Rhin.

M. Picard a été chargé de pourvoir à cette double amélioration sur une grande partie de la longueur du Canal.

L'exhaussement du plan d'eau nécessitait, non seulement le relèvement des digues, des revêtements maçonnés, des plates-formes de ponts tournants, des portes d'écluses, des déversoirs, des chapes bétonnées ou corroyées, etc., mais aussi la démolition de la plupart des passages supérieurs et leur reconstruction à un niveau suffisant pour la circulation des bateaux vides ou chargés de matières encombrantes.

De nombreux tabliers métalliques à poutres droites ou en arc ont été ainsi substitués aux anciens ponts suspendus ou en maçonnerie.

Pour certains ponts, toutefois, il a été possible d'éviter cette substitution onéreuse.

Tel fut le cas : 1° du pont de Frouard et de ponts semblables ; 2° du pont de Champigneules.

1. *Pont de Frouard et ponts semblables.* — Le pont de Frouard était formé d'une arche en maçonnerie intradossée suivant un arc de cercle. D'après le programme approuvé par l'Administration centrale, on devait mettre l'arche sur cintre, la démolir et la reconstruire à un niveau plus élevé.

Ce programme reçut un commencement d'exécution par la mise sur cintre de l'ouvrage. Mais, à partir de ce moment, il fut entièrement modifié pour faire place à un mode de procéder d'une hardiesse quelque peu américaine.

En démolissant quelques ouvrages accessoires, M. Picard avait constaté la grande résistance et la parfaite homogénéité des maçon-

neries. Il prit dès lors le parti de relever la voûte d'une seule pièce après l'avoir coupée aux naissances. Cette transformation du plan primitif devait permettre l'exhaussement rapide des cintres qui entravaient le passage des bateaux, assurer le rétablissement presque immédiat de la navigation dans des conditions à peu près normales et donner une grosse économie.

Des cales en tôle furent placées dans les assemblages des pièces de bois qui avaient une tendance à se pénétrer et une série de vérins disposés sous les poteaux. Ces vérins étaient accompagnés de coins et de contrecoins, de manière à soutenir le cintre en cas de rupture des vis et pendant les manœuvres d'enlèvement, puis de recalage, effectuées quand les appareils arrivaient à l'extrémité de leur course. Des échelles graduées et des index mobiles enregistraient les mouvements de translation verticale des diverses fermes; ces mouvements pouvaient ainsi se régler avec une précision et une uniformité pour ainsi dire absolues. Enfin les deux fermes de tête étaient contre-butées par de fortes contre-fiches qui s'opposaient au déversement des cintres.

Une fois tranchée aux naissances, la voûte tassa de $0^{m},04$ environ à la clef.

On adapta des crics aux reins pour comprimer la maçonnerie et prévenir sa dislocation. Ensuite, on entreprit le relèvement. La mise en train fut très pénible et les premiers tours de vérins ne produisirent pas de résultat utile : les pièces de charpente crépitaient comme si elles eussent été au contact du feu. Mais bientôt cet effet cessa, et l'opération put se poursuivre avec une extrême régularité et se terminer en un jour et demi.

Les fissures survenues dans les joints de tête et dans la douelle furent remplies au moyen d'un coulis de ciment sous pression. En même temps, on refermait la voûte aux naissanees. Le décintrement ne détermina plus qu'un tassement minime de $1^{mm},05$ à la clef.

Plus tard, cette opération sans précédent fut renouvelée pour d'autres arches. Au lieu de vérins à vis, on employa des vérins

hydrauliques manœuvrés à distance, afin de placer les ouvriers dans des conditions encore plus complètes de sécurité.

2. *Pont de Champigneules.* — Le pont de Champigneules, établi pour le passage du chemin de fer de Paris à Strasbourg et d'un chemin latéral par-dessus le canal de la Marne au Rhin, était biais à 30° et surbaissé au $\frac{1}{12}$ environ. Il se composait d'anneaux en pierres de taille appareillés dans le système hélicoïdal et d'anneaux intermédiaires en béton.

Après des études détaillées sur la stabilité de la voûte, faites parallèlement par M. Bruniquel, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées attaché à la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, et par l'Ingénieur du Canal, les combinaisons d'abord envisagées et consistant à démolir cette voûte pour la reconstruire à un niveau plus élevé ou pour la remplacer par un tablier métallique purent être abandonnées en faveur d'une solution plus hardie : le rescindement à l'intrados, avec substitution d'un profil nouveau au profil ancien.

L'attaque en grand fut précédée d'une expérience sur la zone du pont correspondant au chemin latéral, expérience en vue de laquelle les ingénieurs imaginèrent un appareil spécial enregistrant et multipliant les flexions.

VIII. — Travaux du Canal de l'Est

(1876-1880) [1].

Nouvel appareil pour les ponts biais.

M. Picard a eu dans ses attributions l'établissement du Canal de l'Est, entre le canal de la Marne au Rhin et Saint-Mihiel. Cette section comprenait à la fois des tronçons de canal artificiel et des parties de

[1] Ces Travaux et une partie de ceux qui font l'objet du paragraphe suivant relevaient de M. Poincaré, ingénieur en chef, et depuis inspecteur général des Ponts et Chaussées.

rivière canalisée; sa construction exigeait, par suite, les travaux les plus variés, y compris des barrages mobiles sur la Meuse.

Le seul ouvrage au sujet duquel M. Picard juge utile d'entrer ici dans quelques détails est le pont souterrain des Kœurs, pour lequel il a imaginé un nouvel appareil intéressant par ses propriétés géométriques et par ses mérites pratiques. Cet appareil a été introduit depuis dans l'enseignement de M. le professeur Mannheim, à l'École Polytechnique, et dans le cours de Ponts à l'École nationale des Ponts et Chaussées.

Pour les ponts biais d'une faible longueur, l'appareil le plus rationnel, celui qui réduit au minimum les poussées au vide, est sans contredit l'*appareil orthogonal parallèle*. Il consiste à prendre pour lignes de joints sur la douelle : d'une part, des courbes parallèles à l'arc de tête, et, d'autre part, des courbes coupant celles-ci à angle droit et constituant leurs *trajectoires orthogonales*. Dans l'application, il présente l'inconvénient de nécessiter un tracé relativement difficile, de faire varier d'une manière continue les largeurs des voussoirs d'une même assise, d'entraîner une taille pénible et coûteuse, d'interdire l'emploi de matériaux ayant des dimensions uniformes.

Aussi les Anglais l'ont-ils simplifié en le remplaçant par l'*appareil hélicoïdal,* qui en dérive par la substitution des cordes des arcs de tête à ces arcs eux-mêmes dans le développement de la douelle. Les lignes d'assises ou de lits sont ainsi transformées : sur le développement, en droites perpendiculaires à ces cordes et, dès lors, parallèles entre elles; sur la douelle, en hélices de même pas et d'un tracé facile. Toutes les pierres d'une même assise ont une largeur uniforme.

L'appareil orthogonal et l'appareil hélicoïdal diffèrent très peu l'un de l'autre pour des voûtes plates et d'un biais peu accusé. Quand, au contraire, la montée de la voûte devient considérable et quand le biais est prononcé, l'appareil approché s'écarte de l'appareil théorique et donne vers les naissances et vers la clef, à la rencontre des plans de lits et du plan de tête, des angles aigus qui peuvent compromettre, dans une certaine mesure, la stabilité de la construction, si

les matériaux ne sont pas d'excellente qualité. On n'en est pas moins parvenu à l'adapter même à des arches en plein cintre comportant un biais assez notable : 1° en appareillant, suivant les génératrices et les sections droites, les parties de la voûte situées au-dessous des joints de rupture, qui n'ont rien à craindre de la poussée au vide ; 2° en plaçant une crémaillère au niveau de chacun de ces joints ; 3° en n'appliquant ainsi l'appareil biais qu'à la partie supérieure de la voûte et en réduisant son amplitude à un angle au centre de 120°. Grâce à cet artifice, l'appareil hélicoïdal est à peu près le seul en usage pour les arches biaises de peu de longueur.

Dans le cas où la distance des têtes de l'arche devient considérable, on ne l'appareille plus en biais sur toute sa longueur. On la divise en trois zones : deux zones comprises entre les plans de tête et des sections droites peu éloignées de ces plans, auxquelles on applique un appareil biais ; une zone médiane que l'on appareille en voûte droite. Quelquefois on emploie l'appareil hélicoïdal pour les zones de tête qu'on limite alors par des crémaillères à leur jonction avec la zone médiane. Souvent aussi on adopte *l'appareil orthogonal convergent*.

Ce dernier appareil, qui donne au point de vue théorique la solution la plus satisfaisante, consiste à prendre pour lignes de joints sur la douelle les sections du cylindre d'intrados par des plans convergents vers l'intersection de ceux qui limitent les zones de tête et les trajectoires orthogonales de ces sections. Malgré les belles études dont il a fait l'objet de la part d'un certain nombre d'ingénieurs et de savants, il présente, à un plus haut degré encore, tous les inconvénients de l'appareil orthogonal parallèle.

Ayant à construire aux Kœurs un pont biais à 52°30′, de 50^{m} de longueur, M. Picard y a appliqué un *appareil convergent simplifié* dont le principe est le suivant :

Principe de l'appareil convergent simplifié. — Considérons une voûte dont la projection horizontale serait a' A′ B b (*voir* la planche insérée à la fin de la Notice, *fig.* 1). Soit C′ D le plan de section droite

limitant la zone à appareiller en biais. Développons, suivant l'usage, la douelle sur le plan des naissances, en la faisant tourner autour de la génératrice Bb comme charnière ; la transformée de l'arc de tête sera l'arc de sinusoïde BA, celle de la section droite sera la ligne droite DC perpendiculaire à la charnière. Coupons ensuite le cylindre d'intrados, comme s'il s'agissait d'appliquer l'appareil orthogonal convergent, par une série de plans concourant vers l'arête d'intersection E' des deux plans limitant la zone biaise : les sections ainsi obtenues seront des ellipses et auront pour transformées, dans le développement, des arcs de sinusoïdes, dont les trajectoires orthogonales constitueraient les lignes d'assises ou de lits de l'appareil orthogonal convergent.

Les cordes de tous ces arcs concourent vers un même point E de la droite DC, attendu qu'elles divisent la génératrice Aa en segments égaux à ceux que les plans de section détachent sur la projection horizontale de cette génératrice et qu'en conséquence elles partagent les deux droites Bb et Aa en parties proportionnelles. Substituons ces cordes aux transformées des sections. Leurs trajectoires orthogonales deviennent évidemment des circonférences concentriques décrites du point E comme centre. Ce sont ces circonférences qui ont été prises pour lignes de lits.

Ainsi, dans ce système, les transformées des traces des joints sur l'intrados sont : d'une part, des lignes droites convergeant vers le point d'intersection des cordes des transformées des deux sections limitant la zone de tête ; d'autre part, des circonférences concentriques décrites de ce point d'intersection comme centre.

L'appareil simplifié dont le principe vient d'être indiqué et qui peut s'appeler *appareil circulaire convergent* se déduit donc du système orthogonal par un artifice semblable à celui qui a permis de passer de l'appareil orthogonal parallèle à l'appareil hélicoïdal.

Il offre de précieux avantages : facilité extrême du tracé des lignes de joint dans le développement de la douelle ; simplicité et sûreté du tracé des lignes de lits ou d'assises sur le cintre au moyen de leurs points d'intersection avec les génératrices, points dont la détermination

se réduit à des opérations graphiques ou à des calculs rapides ; enfin et surtout, uniformité de la largeur des assises, possibilité de recourir à des matériaux ordinaires et de dimensions courantes, suppression des difficultés de taille inhérentes à l'appareil orthogonal convergent. Son seul inconvénient est de nécessiter des crémaillères aux naissances; mais cet inconvénient ne saurait être mis en balance avec les avantages précédemment énumérés.

L'appareil simplifié se rapproche d'autant plus du système orthogonal qu'on l'applique à une voûte plus plate et moins biaise et qu'on augmente davantage le rayon des transformées circulaires des lignes de lits ou d'assises, c'est-à-dire la longueur des zones extrêmes. Quoi qu'on fasse, il donne sur les voussoirs de l'archivolte des angles s'écartant dans une certaine mesure de l'angle droit. Mais il est toujours facile d'y pourvoir, autant que l'exige la nature des matériaux, soit en accroissant le rayon des transformées des lignes d'assises, soit en réduisant l'appareil biais à la partie de l'arche comprise entre les joints de rupture, si l'intrados s'étend au-dessous de ces joints, et en plaçant les crémaillères à leur niveau comme dans le cas d'application du système hélicoïdal au plein cintre. Cette réduction n'entraîne aucune sujétion supplémentaire, puisqu'il faut, en tout état de cause, deux crémaillères.

En appliquant purement et simplement l'appareil simplifié à la région des archivoltes, on aurait des joints courbes pour les voussoirs de tête, qui sont en général des pierres de taille et dont les dimensions ne permettent pas de négliger dans leur étendue la courbure des lignes d'assises circulaires. Afin d'éviter pareille complication, il suffit d'employer l'appareil hélicoïdal entre la courbe de tête et une parallèle à la corde de la transformée de cette courbe passant par le point le plus rentrant de la douelle des voussoirs de tête, et de n'appliquer l'appareil convergent qu'au delà de cette corde.

La section droite à laquelle doit être arrêté l'appareil biais se détermine comme il suit. On commence par procéder à la division de la courbe de tête en parties correspondant aux voussoirs de l'archivolte

et par tracer l'appareil hélicoïdal de ces voussoirs sur le développement de la douelle. On partage de même en assises le corps droit de la voûte, en ayant soin d'attribuer aux moellons une largeur qui divise exactement celle des voussoirs de tête. Puis on attribue à la section cherchée une position provisoire, en prenant un rayon assez grand pour rendre insensible la flèche des lignes de lits de douelle dans l'étendue d'un moellon. Du centre de convergence donné par cette section provisoire, on trace un arc de cercle passant par l'un des points de division de la ligne oblique qui limite l'appareil hélicoïdal. Si cet arc n'est pas tangent à l'une des génératrices formant lignes de lits de la partie droite de la voûte, on choisit parmi ces lignes celle qui se rapproche le plus du contact. Enfin, on cherche sur l'oblique précitée le centre d'une circonférence satisfaisant à la double condition d'être tangente à cette génératrice et de passer par le point de division qui a servi à déterminer la première circonférence auxiliaire. Le centre ainsi obtenu est celui qui sert définitivement au tracé de l'épure du développement.

Équations des lignes de lits, de leurs transformées et de leurs projections sur divers plans. Propriétés focales des normales aux projections des lits sur des plans parallèles aux génératrices. (Cas d'une section droite circulaire.) — Désignons par :

r le rayon de la section droite du cylindre,

e la distance CE du point de convergence E à la génératrice aC,

R le rayon de la transformée MN d'une ligne de lits,

α l'angle formé par le plan des naissances et un plan diamétral passant par une génératrice quelconque ou l'arc sous-tendu par cet angle dont le rayon serait égal à l'unité,

γ l'angle des deux plans limitant la zone appareillée en biais.

Prenons pour origine des coordonnées le point E, pour axe des X le développement ED de la section droite et pour axe des Y une perpendiculaire à cette droite.

Les coordonnées d'un point quelconque P de la transformée d'une ligne de lit MN doivent satisfaire à la relation :

$$(1) \qquad Y^2 + X^2 = R^2,$$

et comme on a, d'autre part,

$$(2) \qquad X = e + \pi r - r\alpha,$$

l'équation générale des transformées des lits est

$$(3) \qquad Y^2 + (e - \pi r - r\alpha)^2 = R^2$$

ou plus simplement, par un changement dans l'origine des angles,

$$(4) \qquad Y^2 + r^2\alpha'^2 = R^2.$$

Telle est aussi l'équation des lits eux-mêmes sur le cylindre.

Passons maintenant à l'équation des projections des lignes de lits sur le plan des naissances, en prenant pour origine des eoordonnées le centre o de la section droite, pour axe des x la projection oD de cette section et pour axe des y une droite perpendiculaire oo'. L'ordonnée d'un point quelconque P' de la ligne M'N' est la même que celle du point correspondant P de la transformée MN. Son abscisse satisfait aux relations :

$$(5) \qquad x = r\cos\alpha,$$

$$(6) \qquad \alpha = \text{arc}\cos\frac{x}{r}.$$

Transportant eette valeur de α dans l'équation (3), on a :

$$(7) \qquad y^2 + \left(e + \pi r - r\,\text{arc}\cos\frac{x}{r}\right)^2 = R^2,$$

qui est l'équation cherchée.

Si l'on déduit de eette équation eelle de la normale à la projection d'une ligne d'assise en un point placé sur la génératrice déterminée par l'angle α, il est faeile de reconnaître que l'abscisse de l'intersection

de cette normale avec l'axe des x a pour valeur

(8) $$x' = r\cos\alpha - \frac{e+\pi r - r\alpha}{\sin\alpha},$$

qu'elle est dès lors indépendante de l'ordonnée du point considéré ainsi que du rayon de la transformée, et que, par suite, *toutes les normales aux projections des lignes de joints aux points où ces lignes coupent une même génératrice concourent vers un foyer unique situé sur la trace du plan de section droite auquel est limité l'appareil biais.*

Pour $\alpha = 0$ et pour $\alpha = 180°$, ce foyer est à l'infini, c'est-à-dire que les projections des lignes de lits sont tangentes à celles des génératrices des naissances, ce qui est évident *a priori*. Pour $\alpha = 90°$, le foyer est à gauche de l'origine des coordonnées, à une distance de cette origine égale à $e + \frac{\pi r}{2}$. La propriété qui vient d'être énoncée peut, dans certains cas, aider au tracé de l'épure en permettant de mener rapidement les tangentes aux projections des lits au droit de quelques génératrices et de réduire ainsi le nombre des points de ces courbes à déterminer par abscisses et ordonnées.

L'équation des projections des lits sur le plan vertical passant par l'axe de la voûte s'établit comme il suit, en prenant pour origine des coordonnées la projection o'' du centre de la section droite CD, pour axe des x la projection de cette section et pour axe des y celle des génératrices des naissances : l'ordonnée y d'un point quelconque P'' du lit $M''N''$ est égale à celle du point correspondant P de la transformée ; son abscisse x est liée à l'angle α par les relations

(9) $$x = r\sin\alpha,$$

(10) $$\alpha = \text{arc}\sin\frac{x}{r},$$

d'où

(11) $$y^2 + \left(e + \pi r - r\,\text{arc}\sin\frac{x}{r}\right)^2 = R^2.$$

Ici encore *les normales aux projections des lignes de lits aux*

points où ces lignes coupent une même génératrice concourent vers un foyer unique situé sur la trace du plan de section droite auquel est limité l'appareil biais. L'abscisse de ce foyer est

$$x'' = r \sin \alpha + \frac{e + \pi r - r\alpha}{\cos \alpha}. \tag{12}$$

Pour $\alpha = 0$, cette abscisse est $e + \pi r$; pour $\alpha = 180°$, elle est e; pour $\alpha = 90°$, le foyer est à l'infini, c'est-à-dire que les projectrices des lits sont tangentes à celle de la génératrice du sommet.

Cherchons enfin l'équation des projections des lits sur le plan de tête. Prenons, à cet effet, pour origine des coordonnées le point o''', projection du centre o de la section droite CD, pour axe des x la trace o'''B du plan de tête et pour axe des y la droite perpendiculaire $o'''y$. L'ordonnée $P'''p'''$ d'un point quelconque de $M'''N'''$ est égale à $p'\pi$ ou à $r \sin \alpha$; l'abscisse $o'''p'''$, à la projection de la ligne brisée $op'P'$ ou à $op' \cos \gamma + p'P' \sin \gamma$. On a donc les relations

$$y = r \sin \alpha, \tag{13}$$

$$x = r \cos \alpha \cos \gamma + Y \sin \gamma, \tag{14}$$

soit

$$\alpha = \text{arc} \sin \frac{y}{r}, \tag{15}$$

$$Y = \frac{1}{\sin \gamma} (x - \cos \gamma \sqrt{r^2 - y^2}). \tag{16}$$

Transportant ces valeurs de α et de y dans l'équation (3), on en déduit

$$\frac{1}{\sin^2 \gamma} (x - \cos \gamma \sqrt{r^2 - y^2})^2 + \left(e + \pi r - r \,\text{arc} \sin \frac{y}{r}\right)^2 = R^2. \tag{17}$$

Cas d'une section droite quelconque. — Si, au lieu d'attribuer à la voûte une section droite circulaire, on lui suppose une autre forme et si l'on désigne par s l'arc détaché à partir du point C' sur cette section par une génératrice quelconque Pp, $P'\pi$, en conservant d'ailleurs les autres notations précédemment admises, l'équation générale de la

transformée d'un lit dans le développement est

$$\text{(18)} \qquad Y^2 + (e + s)^2 = R^2.$$

Celle de sa projection sur le plan des naissances s'obtient en remplaçant dans cette dernière s par sa valeur en fonction de x, qui suffit à déterminer cette variable, et peut se mettre sous la forme

$$\text{(19)} \qquad y^2 + f(x) = R^2.$$

Celle de sa projection sur le plan vertical diamétral est de même

$$\text{(20)} \qquad y^2 + \varphi(x) = R^2.$$

Le théorème des foyers s'applique encore aux normales à ces projections; pour une génératrice ξ, ces foyers ont respectivement comme abscisses sur les deux plans de projection

$$\xi - \tfrac{1}{2} f'(\xi),$$
$$\xi - \tfrac{1}{2} \varphi'(\xi)\ (^1).$$

Démonstration géométrique des propriétés focales. — Les propriétés focales qui viennent d'être énoncées peuvent facilement s'établir par la géométrie pure.

Prenons, en effet, la génératrice dont le développement serait Pp (*fig.* 2) et sur cette génératrice le point p qui en forme le pied dans la section droite limitant la zone appareillée en biais, ainsi qu'un point quelconque P. Le plan π tangent au cylindre de douelle le long de la génératrice Pp contient nécessairement les tangentes à toutes les lignes de lits, au point où ces lignes coupent Pp; les plans normaux à ces tangentes ou aux courbes de lits sont donc perpendiculaires à ce plan et se coupent entre eux suivant des normales audit plan ou des parallèles à la normale op à la section droite au point p (c'est-à-dire

(1) Le théorème des foyers est également vrai pour l'appareil orthogonal convergent, attendu que les équations des projections des lignes d'assises de cet appareil ont une forme semblable à celle des équations (19) et (20).

au rayon op dans l'espèce d'une section droite circulaire); le plan normal QR au point p n'est d'ailleurs autre que celui de la section droite; le plan normal QS au point P fait avec ce dernier un angle égal à celui de la génératrice avec la ligne de lit qui passe par ce point, c'est-à-dire à l'angle PEN du développement.

Cela posé, considérons le triangle rectangle dessiné sur le plan tangent par le segment Pp de la génératrice et par les traces des deux plans normaux; l'angle de ces deux traces est précisément celui des deux plans. Le triangle considéré a donc un côté de son angle droit et l'angle aigu opposé égaux aux éléments homologues du triangle PpE du développement; il est, dès lors, égal à ce triangle.

Le côté correspondant à la trace de la section droite est en conséquence égal à Ep et, par suite, indépendant du point P; l'intersection des deux plans normaux est donc elle-même indépendante de la position de ce point et partant *elle est commune à tous les plans normaux.*

Les normales aux projections des lignes de lits *sur un plan quelconque parallèle aux génératrices,* n'étant autre chose que les projections des traces des plans normaux à ces lignes sur un plan parallèle au plan de projection mené par cette génératrice, concourent donc vers un foyer unique qui est la projection de la trace de l'intersection commune à tous ces plans sur le plan parallèle au plan de projection.

La plus courte distance entre l'intersection des plans normaux et la génératrice est d'ailleurs mesurée par la droite Ep et a ainsi pour expression $e + \pi r - r\alpha$ dans le cas particulier d'une section droite circulaire. Si donc sur le plan de section droite rabattu (*fig.* 1) on mène au point π une tangente à l'arc de section droite, si l'on prend ensuite sur cette tangente une longueur $\pi e = pe$, si enfin par le point e ainsi obtenu on mène une parallèle à $o\pi$, cette droite ef représentera l'intersection commune à tous les plans normaux. La droite ef coupera la trace du plan parallèle au plan des naissances mené par la génératrice Pp au point f qu'il suffira de projeter en F pour avoir le foyer cherché dans la projection sur la douelle. Or, on a, au cas de la

section droite circulaire,

(21) $$Fp' = f\pi = \frac{\pi e}{\sin \pi f e} = \frac{e + \pi r - r\alpha}{\sin \alpha},$$

donc

(22) $$(-oF) \quad \text{ou} \quad x = r\cos\alpha - \frac{e + \pi r - r\alpha}{\sin \alpha}.$$

On arriverait de même à la formule correspondant au plan diamétral vertical.

Application de l'appareil convergent simplifié. — Ce n'est point ici le lieu de décrire les conditions dans lesquelles l'appareil convergent simplifié a été appliqué au pont souterrain des Kœurs. Les difficultés d'exécution de pareils ouvrages sont bien connues de tous ceux qui ont eu à construire des ponts biais en maçonnerie. Néanmoins quelques particularités méritent de fixer l'attention.

Une équerre spéciale à trois branches, dont deux fixes et formant un angle de 90°, et la troisième mobile autour d'un genou ayant son centre au point d'intersection des deux premières, a été imaginée pour la mesure des angles trièdres et employée à la taille si délicate des voussoirs de tête.

M. Picard, jugeant indispensable d'abattre l'angle aigu de chacune des têtes, a eu recours à une voussure engendrée par une droite horizontale glissant : d'une part, sur une ellipse de tête ayant pour petit axe celui de l'ellipse primitive, mais comportant pour son grand axe une longueur supérieure de $0^m,30$ à celle du grand axe de cette dernière ellipse; d'autre part, sur l'ellipse obtenue en coupant le cylindre d'intrados par un plan vertical passant au sommet de l'ellipse de tête et rencontrant la génératrice des naissances à $0^m,15$ du sommet de l'angle aigu primitif.

Pendant la construction de l'arche, les mouvements suivants tendaient à se produire. Du côté de l'angle obtus, le cintre était poussé au vide, les voussoirs de tête au contraire étaient poussés vers l'intérieur de la voûte ; il y avait là, en effet, deux plans inclinés sollicités à

glisser l'un sur l'autre. Du côté de l'angle aigu, la situation était inverse ; elle n'était du reste à redouter que pour les voussoirs. On a empêché ces mouvements en solidarisant d'une manière énergique les fermes du cintre, en étançonnant la ferme de tête du côté de l'angle obtus, en étayant les voussoirs de l'angle aigu, en poussant très rapidement la maçonnerie en arrière de la tête, vers l'angle obtus.

Après l'achèvement de la voûte, les voussoirs de l'angle obtus devaient tendre à être chassés vers l'extérieur : le voussoir spécial terminant la zone biaise au niveau du joint de rupture présentait la forme d'un coin ayant sa base la plus large dans le plan de tête. On y a pourvu par un ancrage dans la culée et par la liaison des voussoirs de tête au moyen de tenons en mortier de ciment.

Grâce à ces mesures, les accidents si fréquents dans la construction des ponts biais ont été complètement évités.

IX. — Travaux pour l'alimentation commune au Canal de la Marne au Rhin et au Canal de l'Est
(1874-1880).

Dès avant 1870, les ressources alimentaires du Canal de la Marne au Rhin étaient insuffisantes entre Saint-Joire et Toul. L'accroissement du trafic, l'exhaussement à 2^{m} du mouillage et l'établissement du Canal de l'Est, dont une section comprise entre Troussey et Sorcy empruntait ses eaux au Canal de la Marne au Rhin, augmentèrent cette insuffisance dans une énorme proportion. D'après des calculs précis, le déficit journalier atteignait $65\,000^{m^3}$ et le déficit maximum annuel $8\,000\,000^{m^3}$.

A la suite de longues et laborieuses études, l'Administration supérieure admit en principe un plan considérable de travaux préparé par M. Picard et comportant : 1° l'installation près de Toul, sur la Moselle, d'usines hydrauliques d'une force brute totale de 850 chevaux, utilisant la chute disponible de trois barrages à aiguilles et refoulant à 40^{m} de hauteur 650^{l} à 900^{l} d'eau par seconde ; 2° la

création, dans le bassin de la haute Meuse, d'un réservoir dont les eaux seraient partiellement reprises au point de contact de la rivière de Meuse et du Canal de la Marne au Rhin, près Pagny; 3° l'installation, à Vacon, de pompes à vapeur d'une force utile de 250 chevaux, reprenant dans le Canal de la Marne au Rhin une partie des eaux fournies par les moyens précédents et les refoulant dans une rigole qui devait les conduire au bief de partage de Mauvages.

Ce programme a été, pour une large part, réalisé. M. Picard a eu notamment à établir deux usines hydrauliques (l'une à Valcourt, l'autre à Pierre-la-Treiche), l'usine à vapeur de Vacon et de longues rigoles collectrices.

Chacune des usines de Valcourt et de Pierre-la-Treiche comprend deux turbines du type Fontaine modifié par Girard et Callon, et deux groupes correspondants de trois pompes horizontales du système Girard, à pistons plongeurs et à double effet. La connexion est directe. Les six pompes envoient leur produit dans un réservoir d'air central et unique d'où se détache la conduite ascensionnelle (1).

A Valcourt, le volume moteur a été fixé à 6^{m^3}; à Pierre-la-Treiche, il est de $6^{m^3},50$. Les chutes sont, pour la première usine, de 4^m, et, pour la seconde, de $2^m,50$. Dès lors, les forces brutes atteignent respectivement 320 et 217 chevaux. Quant à la hauteur de refoulement, elle est à Valcourt, comme à Pierre-la-Treiche, de 40^m à 41^m. On a, d'ailleurs, supposé que le volume moteur pourrait varier d'un quart en plus ou en moins.

Dans l'usine de Valcourt, le distributeur des turbines a un diamètre moyen de 3^m et une ouverture de $0^m,140$ mesurée suivant le rayon; il présente 82 orifices. Le vannage comprend 11 vannes-tiroirs susceptibles de couvrir et de découvrir chacune 7 orifices, et 5 vannettes indépendantes, qui desservent chacune un orifice et permettent de régler le débit à $\frac{1}{82}$ près. Une couronne formant volant surcharge le récepteur.

(1) Les installations de machines ont été confiées à MM. Callon et Feray.

Les pistons des pompes ont un diamètre de $0^{m},375$, une course constante de $0^{m},50$ et une vitesse moyenne de $0^{m},48$. Ces pompes sont pourvues de clapets du système Girard à ressorts extérieurs indicateurs, au passage desquels l'eau ne prend pas une vitesse moyenne supérieure à $2^{m},80$. Des réservoirs d'air régularisent le mouvement de l'eau à l'aspiration et réduisent à $0^{m},11$ au maximum les variations de la hauteur de cette aspiration. Le réservoir d'air au refoulement limite à $\frac{1}{78}$ les changements de pression.

On modifie le volume de l'eau refoulée, suivant les besoins, par le débrayage d'une ou de plusieurs pompes; malgré ce débrayage, la régularité du mouvement reste très largement assurée.

A Pierre-la-Treiche, les dispositions sont analogues.

Les conduites ascensionnelles en fonte ont : pour les machines de Valcourt, un diamètre de $0^{m},80$ et une longueur de 615^{m}; pour les machines de Pierre-la-Treiche, un diamètre de $0^{m},65$ et une longueur de 300^{m}. Elles débouchent en col de cygne dans de vastes bassins perreyés; leur embouchure est largement évasée, de manière à épouser la forme de la veine liquide.

Une rigole collectrice de 14^{km} environ de longueur recueille les eaux refoulées et les amène au Canal de la Marne au Rhin, près de Fong. Cette rigole est élargie dans les courbes de la quantité nécessaire pour compenser l'influence des inflexions du courant sur la charge. Elle comporte des siphons en fonte de 1^{m} de diamètre et d'un développement total de 1^{km}, au passage de deux vallées secondaires, ainsi qu'un long souterrain à section circulaire; les siphons débouchent par des trompes maçonnées dans de grands bassins.

Le bief où la rigole déverse ses eaux étant alimenté à son extrémité par les sources de Vacon, on en a profité pour aménager des courants alternatifs qui facilitent les mouvements successifs de montée et de descente des rames de bateaux à la traversée d'un souterrain et d'une tranchée à voie unique.

Des soins particuliers ont été apportés à la constatation du rendement des machines. Écartant les procédés empiriques et approximatifs

en usage, on a recouru à des expériences d'un caractère véritablement scientifique.

Les opérations consistaient à mesurer la dépense d'eau motrice, la chute, le volume de l'eau refoulée et la hauteur de refoulement. De ces quatre opérations, la seconde et la quatrième n'exigeaient que de simples nivellements. La première et la troisième étaient plus difficiles.

Pour le jaugeage de l'eau motrice, on a choisi des sections bien calibrées du canal d'amenée ou du canal de fuite, à une distance suffisante des machines, déterminé la hauteur de l'eau et, par suite, la surface de la section mouillée, puis mesuré la vitesse moyenne de l'écoulement à l'aide d'instruments tarés par avance et placés successivement en quinze points du profil. Ces points étaient méthodiquement groupés et distants de 0m,50 au moins soit de la surface, soit du plafond, soit des bajoyers. On a employé au mesurage de la vitesse des moulinets de Woltmann, fabriqués par Schwilgué de Strasbourg. L'un de ces moulinets, destiné à jouer le rôle d'étalon, a été tout d'abord taré avec une rigueur mathématique : à cet effet, les expérimentateurs lui ont imprimé, dans une eau dormante, une série de vitesses dont l'uniformité était assurée par un treuil à volant et un métronome Maetzel ; ils mesuraient le nombre de tours de l'appareil et en déduisaient les valeurs du rapport entre ce nombre et la vitesse ; les résultats de leurs observations étaient traduits graphiquement. Des diverses constatations ainsi effectuées, les plus essentielles ont été les suivantes : 1° le rapport entre le nombre de tours et la vitesse décroît au fur et à mesure que la vitesse augmente ; 2° il est d'ailleurs loin d'être lié à la vitesse par une relation linéaire ; 3° le moulinet est encore très sensible pour de faibles vitesses ; 4° quand le moulinet est resté hors d'eau pendant un temps assez long, il devient paresseux, mais recouvre bientôt sa sensibilité. Le tarage des autres moulinets se déduisait facilement de celui du moulinet étalon. Plusieurs essais sur les tubes de Darcy ont prouvé qu'ils étaient inapplicables aux faibles vitesses. La vitesse moyenne du courant a été trouvée, à 2 pour 100

près, égale aux $\frac{5}{6}$ de la vitesse mesurée dans l'axe et au tiers supérieur de la profondeur de l'eau.

Diverses observations simultanées sur le coefficient de débit des orifices des turbines ont montré que ce coefficient diminuait sensiblement quand la vitesse s'accroissait outre mesure, qu'il augmentait avec le degré d'ouverture du distributeur et qu'en marche normale il atteignait 0,928.

Pour le jaugeage de l'eau refoulée, on a utilisé comme bassin de jauge un tronçon parfaitement calibré de rigole dont le profil avait été soigneusement calculé; les mouvements de l'eau étaient appréciés à l'aide de tiges graduées et d'index. En même temps, on relevait le nombre de tours des turbines. M. Picard a voulu, à cette occasion, vérifier les coefficients donnés par Boileau, en ce qui concerne l'écoulement sur les déversoirs : dans les limites de l'opération, il est arrivé à une concordance absolue pour l'épaisseur des lames déversantes, mais à des débits légèrement inférieurs.

Dans l'ensemble, il a été reconnu à Valcourt : 1° que, pour les turbines dénoyées, le rendement mécanique en eau montée variait de 0,654 à 0,687 et atteignait en moyenne 0,670; 2° que, pour les turbines noyées, il oscillait entre 0,619 et 0,635 et était en moyenne de 0,624; 3° que les rendements mécaniques moyens à la sortie de l'usine, dans les mêmes circonstances, étaient de 0,674 et 0,628. Des chiffres analogues, mais un peu plus faibles, ont été obtenus à Pierre-la-Treiche.

Quant à l'usine de Vacon, elle devait refouler 500^{l} d'eau par seconde à 37^{m} de hauteur et produire, par suite, un travail utile de 250 chevaux environ.

Son installation comprend : cinq chaudières ordinaires à bouilleurs et réchauffeurs, de 450$^{m^2}$ de surface de chauffe totale; deux machines horizontales à quatre distributeurs circulaires, de 300 chevaux indiqués sur les pistons des pompes; deux pompes horizontales à connexion directe, du système Girard; une cheminée de 45^{m} de hauteur [1].

[1] Les installations mécaniques ont été confiées à MM. Cail et Cie.

Les moteurs sont à détente variable par le régulateur et à condensation par injection. Dérivée du système Ingliss, la distribution à soupapes comporte cependant des améliorations sérieuses. La vitesse moyenne du piston est de $1^m,70$. Enfin, la fraction d'introduction de vapeur est normalement de $\frac{1}{12}$ pour le produit maximum des pompes, mais peut varier du quart au trentième.

Comme je l'ai déjà indiqué, les pompes sont en prolongement des cylindres à vapeur. Leurs pistons ont une vitesse moyenne de $1^m,70$: cette vitesse, inadmissible avec des moteurs hydrauliques, est au contraire acceptable avec des moteurs à vapeur, qui offrent beaucoup plus d'élasticité; elle a, du reste, pour correctif, le très grand diamètre attribué aux corps de pompe. Sans s'écarter du principe des soupapes Girard, les clapets ont reçu une forme annulaire de manière à accroître les surfaces de débit; la vitesse moyenne de l'eau n'y dépasse pas $1^m,90$. Des réservoirs d'air limitent les variations de la hauteur d'aspiration et régularisent le refoulement.

La conduite ascensionnelle en fonte débouche dans une rigole maçonnée, de 8^{km} de longueur, qui se développe à travers l'étage des calcaires à astartes et qui franchit divers ravins par des siphons d'une longueur totale de 930^m.

On a jaugé le volume d'eau refoulée par des moyens semblables à ceux qui avaient été employés pour les usines hydrauliques; d'autre part, on mesurait le travail indiqué sur les pistons au moyen d'indicateurs Richard. Le rendement mécanique moyen des pompes s'est élevé à 0,825.

M. Picard a profité de la construction des rigoles collectrices pour faire des expériences, sans utilité pratique immédiate, mais d'un réel intérêt scientifique, au sujet de l'écoulement des eaux dans ces rigoles et dans leurs siphons. Les résultats auxquels il est arrivé se résument ainsi :

1° Pour les rigoles en terre, les coefficients classiques de MM. Darcy et Bazin, quoique conduisant à une évaluation par excès du débit, se sont à peu près vérifiés quand les talus étaient absolument débar-

rassés de végétation. Leur application à des sections enherbées a, au contraire, fourni des évaluations exagérées de la capacité de débit, tant à raison de la réduction du débouché effectif que par suite des remous auxquels les herbes donnent lieu; le déchet s'accentue lorsque la vitesse diminue.

2° Les coefficients de MM. Darcy et Bazin, pour les rigoles maçonnées, ont présenté une exactitude remarquable.

3° Pour l'écoulement dans les tuyaux, la perte de charge constatée représentait approximativement la moyenne entre les pertes de charge indiquées par M. Darcy, en ce qui concerne les tuyaux neufs, d'une part, et les tuyaux vieux, d'autre part. Cependant les conduites servant de champ d'expériences venaient seulement d'être achevées. Mais il y a lieu d'observer que M. Darcy n'a pas fait d'expériences directes sur des tuyaux d'un diamètre supérieur à $0^{m},50$; il convient également de remarquer que la paroi intérieure des siphons n'était pas d'une régularité irréprochable.

Le degré de pureté de l'eau a exercé une influence très appréciable sur la perte de charge : les matières en suspension augmentaient les frottements des filets liquides entre eux et contre les parois.

Les autres travaux exécutés en vue de l'alimentation commune au Canal de la Marne au Rhin et au Canal de l'Est n'ont pas assez d'importance pour appeler ici des indications, même sommaires.

En ce qui touche les études, il suffit de mentionner le projet du réservoir d'Aouze dans la partie supérieure du bassin de la Meuse. Ce réservoir répondait à des buts multiples : alimentation des voies navigables; régularisation du débit de la rivière; accroissement des forces motrices disponibles; développement des irrigations.

Du reste, le regretté M. L. Lalanne a fait à l'Académie des Sciences, le 7 février 1881, une Communication « sur le Canal de l'Est et sur les machines établies pour en assurer l'alimentation ». Il déposait, en même temps, sur le bureau de l'Académie un ouvrage consacré aux travaux dont les traits essentiels viennent d'être rappelés.

X. — Projet du Canal de Dombasle à Saint-Dié
(1879).

Vers la fin de ses fonctions d'ingénieur à Naney, M. Picard a eu à poursuivre les études, eommeneées par son prédéeesseur, d'un eanal latéral à la Meurthe entre Dombasle et Saint-Dié.

Ce eanal, de 70^{km} de longueur, devait desservir les villes ou eentres importants de population de Lunéville, Baecarat et Raon-l'Étape.

Le tracé rencontrait sur son pareours de nombreux établissements industriels (saline, faïencerics, cristallerie, papeteries, tissages, filatures), touchait à une vaste région forestière dont les eoupes alimentent une grande partie du marché français, traversait des terrains partieulièrement riehes en matériaux de eonstruetion, tels que granite, grès rouge, grès vosgien, grès bigarré et muschelkalk.

Diverses vallées seeondaires, dont l'industrie, les ressourees naturelles et le eommerce avaient une importanee considérable, étaient également appelées à fournir au nouveau eanal un gros appoint de trafie.

XI. — Services à l'Administration centrale des Travaux publics
(1880-1885).

Appelé à l'Administration eentrale des Travaux publies au eommeneement de 1880, M. Picard y a oecupé sueeessivement diverses directions, notamment la direetion des Routes, de la Navigation et des Mines ; la direction des Chemins de fer; la direetion générale des Ponts et Chaussées, de la Navigation et des Mines (réunissant tous les serviees teehniques du ministère, y compris les Chemins de fer).

Le grand programme de travaux publies, dû à la haute initiative de M. de Freycinet, était alors en pleine exécution ; la loi du 11 juin 1880 sur les ehemins de fer d'intérêt local et les tramways recevait ses premières applications.

M. Picard a ainsi apporté, pendant plusieurs années, un concours immédiat et actif à l'extension et à l'amélioration des voies ferrées, des canaux ou canalisations de rivières, des ports maritimes. Il s'est constamment attaché, durant cette période, à pousser aux progrès techniques, à encourager les recherches scientifiques qui, seules, peuvent donner à l'art de l'ingénieur des bases solides et le faire sortir des ornières de l'empirisme.

En ce qui concerne les chemins de fer, son rôle n'a pas été seulement d'imprimer à la construction des lignes nouvelles un essor aussi vif que possible, d'assurer leur exploitation provisoire en attendant le régime définitif dont elles devaient être dotées, de préparer des projets de conventions avec les compagnies. Quelques faits spéciaux ont marqué sa gestion.

Tout d'abord, c'est la création des trains légers et des trains-tramways, permettant, les uns, de multiplier économiquement les trains sur les lignes secondaires et de mettre ainsi ces lignes en valeur, les autres, de desservir utilement la banlieue des grandes villes.

C'est ensuite la rédaction d'un code des signaux. Jusqu'en 1885, chaque réseau avait son système spécial de signaux, et cette diversité, en portant obstacle au passage des agents de la traction ou de l'exploitation d'un réseau sur un autre dans le cas de mobilisation, pouvait avoir des conséquences désastreuses. Le code édicté le 15 novembre 1885 uniformisa le langage des signaux, c'est-à-dire les apparences ou les sons qu'ils étaient destinés à produire, ainsi que la signification à y attacher. Il laissait, d'ailleurs, aux administrations de chemins de fer une complète liberté pour la structure des appareils et les moyens mécaniques de manœuvre.

C'est enfin la refonte de la tarification, entreprise sur l'ordre de M. de Freycinet. Les taxes applicables aux marchandises avaient été établies au jour le jour, sans vues d'ensemble et suivant les besoins du moment; elles constituaient un chaos inextricable, faussaient les situations géographiques, blessaient les principes d'une bonne justice distributive. Elles ont fait l'objet d'une revision tendant à y mettre

l'ordre, la clarté, la méthode indispensables, et obéissant à des principes mathématiques avec les tempéraments que commandaient les situations acquises et les nécessités commerciales.

En ce qui concerne la navigation, il y a lieu de citer l'organisation de l'outillage des ports maritimes et la solution d'un problème depuis longtemps considéré comme à peu près insoluble, celui de la conciliation des intérêts engagés dans l'amélioration du port du Havre et dans celle des passes de la Basse-Seine.

Des sacrifices considérables avaient été faits pour le développement des ports maritimes de France. Mais ces ports se trouvaient, en général, au point de vue de l'outillage d'exploitation, dans un état regrettable d'infériorité par rapport aux principaux ports concurrents de l'étranger. Il ne suffisait pas d'avoir créé des bassins. Il fallait pourvoir leurs quais d'engins perfectionnés permettant d'embarquer et de débarquer rapidement les marchandises et de réduire au strict minimum la durée du stationnement des navires : la transformation progressive de notre marine marchande par la substitution de la vapeur à la voile, et par l'accroissement continu du tonnage et de la vitesse de marche, faisait de l'installation de ces engins une nécessité impérieuse. Il fallait, en outre, élever sur les terre-pleins des hangars et des abris pour la manutention et la mise en dépôt provisoire des cargaisons. Il fallait, enfin, relier intimement les ports au réseau des Chemins de fer par des voies ferrées disposées de manière à amener les wagons au contact des navires et à assurer, dans les meilleures conditions de facilité et de promptitude, les manœuvres de chargement et de déchargement, de composition et de décomposition des trains. A défaut de cet outillage, les dépenses que s'était imposées l'État seraient restées à peu près complètement stériles. Les Chambres de Commerce, composées d'hommes versés dans les questions commerciales, connaissant à fond les besoins des ports et intéressées au plus haut degré à leur prospérité, pouvant s'abstraire de toute spéculation directe et ne rechercher d'autre rémunération que l'intérêt et l'amortissement à long terme de leurs capitaux, moyennant des taxes modi-

ques, furent invitées à prendre en main l'établissement et l'administration de l'outillage. De là sortirent des installations remarquables où l'eau comprimée joue un rôle prépondérant comme agent de transmission de la force motrice.

Le chenal donnant accès au port du Havre ne présentait, en très basses marées, qu'un mouillage de $7^{m},80$, chiffre à peine suffisant pour les navires calant $7^{m},30$; en outre, les inflexions et les sinuosités du trajet à parcourir par les navires, soit à l'entrée, soit à la sortie, leur imposaient des manœuvres d'autant plus laborieuses que leur longueur était plus considérable ; il en résultait des retards prolongés et de fâcheux encombrements. Cette insuffisance de profondeur et ces défectuosités du chenal pouvaient compromettre au plus haut point la situation commerciale de notre grand port de l'Océan, le placer dans des conditions de regrettable infériorité relativement aux ports étrangers et porter ainsi atteinte aux intérêts vitaux du pays. La situation apparaissait d'autant plus grave que des reconnaissances hydrographiques révélaient dans la baie de Seine des mouvements de sable susceptibles de faire redouter l'invasion du chenal par les atterrissements. Il était nécessaire de doter le Havre d'une nouvelle entrée aboutissant au grandes profondeurs et indépendante des fluctuations de l'estuaire. De son côté, le port de Rouen se trouvait menacé par les divagations du fleuve dans l'estuaire, et un prolongement des digues en aval de la Risle s'imposait, tout à la fois, pour conjurer le danger, pour conserver les résultats acquis grâce aux digues existantes et pour améliorer même la situation créée par ces digues. Mais les projets étudiés pour le port du Havre soulevaient de vives critiques et, d'autre part, le prolongement des digues de la Seine devait accroître encore les menaces d'ensablement auxquelles était exposé ce port. L'Administration, jugeant inséparables la question du port du Havre et celle du port de Rouen, fit reprendre les études dans des vues d'ensemble et aboutit à un programme qui recueillit l'adhésion des représentants de ces deux ports : ce fut un bienfait pour la France.

XII. — Présidence de la Section des Travaux publics, de l'Agriculture et du Commerce du Conseil d'État
(1886-1901).

Membre de la Section des Travaux Publics, de l'Agriculture et du Commerce du Conseil d'État depuis 1882, puis Président de cette Section depuis 1886, M. Picard n'a cessé de s'occuper, à ce titre, de questions multiples relatives aux voies de transport, aux entreprises agricoles, à l'Industrie, au Commerce, aux Postes et Télégraphes.

Sans entrer dans des détails qui prendraient trop de développement, il citera :

— Pour les Travaux publics : de nombreux projets concernant les chemins de fer d'intérêt général; tous les projets de chemins de fer d'intérêt local, de tramways et de chemins de fer industriels; les projets intéressant les ports maritimes, les rivières navigables, les canaux et les routes; les concessions de mines (parmi lesquelles la répartition des admirables gisements de minerais de fer découverts à une époque relativement récente dans la région de Briey, Meurthe-et-Moselle);

— Pour l'Agriculture : la rédaction du nouveau Code rural; les opérations de desséchement, de curage, d'irrigation; la défense contre le phylloxera; les mesures à prendre pour assurer la sincérité dans la vente des denrées, notamment les dispositions que nécessitaient la fabrication et la vente de la margarine; le reboisement et la mise en défens des terrains en montagne; l'exercice de la vaine pâture; la protection des forêts;

— Pour l'Industrie et le Commerce : la réglementation des ateliers, spécialement au point de vue de l'hygiène des ouvriers; le classement des établissements insalubres ou incommodes; divers règlements au sujet des poids et mesures; etc.

Ces quelques exemples suffisent à bien marquer le rôle de la Section des Travaux publics, de l'Agriculture et du Commerce du Conseil d'État.

XIII. — Présidence de Comités ou Commissions pour les Chemins de fer (1886-1901).

Depuis 16 ans, M. Picard est vice-président du Comité consultatif des Chemins de fer, c'est-à-dire président de fait de cette assemblée (la présidence de droit étant attribuée au Ministre des Travaux publics). Le Comité des Chemins de fer siège avec la plus grande assiduité; il est le conseil permanent du ministre, en matière d'exploitation commerciale. Au nombre des questions déférées à son examen se placent en première ligne toutes celles qui touchent à la tarification : c'est ainsi qu'il a apporté son laborieux concours à la réforme complète des tarifs de grande et de petite vitesse; les efforts de son président ont toujours tendu à répandre l'ordre et la clarté dans le dédale des anciennes taxes, à respecter les principes de justice distributive, à développer la production agricole ou industrielle, à faciliter les échanges, à dégrever les engrais ou amendements et les matières premières de l'industrie, à abaisser progressivement les prix de transport sans faire de brèches dans les recettes, à favoriser l'exportation, qui constitue l'une des sources vives de la richesse nationale, à concilier l'application de règles simples et rationnelles avec la souplesse et l'élasticité indispensables dans la pratique. Le Comité consultatif des Chemins de fer a également dans ses attributions le mouvement des trains au point de vue commercial, la constitution du capital-obligations des Compagnies, l'organisation des caisses de retraites et de secours en faveur du personnel, etc.

M. Picard préside aussi depuis 1886 la Commission de vérification des comptes de chemins de fer, dont le titre indique la fonction et qui étend ses opérations sur toutes les compagnies ou administrations.

XIV. — Présidence du Congrès international des Chemins de fer (1889-1900) et de la Conférence technique de Paris (1896).

Le Congrès international des chemins de fer est une institution permanente à laquelle sont affiliés la plupart des pays du monde et qui se consacre à l'étude des questions importantes concernant la construction et l'exploitation des voies ferrées.

Il a pour organe principal une Commission permanente siégeant à Bruxelles et tient des sessions périodiques dans les différents pays.

La Commission publie un Bulletin où abondent les Mémoires les plus intéressants. Chaque session donne lieu à de savants rapports qui servent de base aux discussions; l'ensemble de ces rapports forme une bibliothèque précieuse pour les ingénieurs du monde entier.

M. Picard est depuis longtemps vice-président de la Commission permanente, que préside un représentant de la Belgique. Ses collègues l'ont élu président des deux sessions tenues à Paris, l'une en 1889, l'autre en 1900.

Les délégués des gouvernements de l'Allemagne, de l'Autriche, de la Belgique, de la France, de la Hongrie, de l'Italie, du Luxembourg, des Pays-Bas, de la Russie et de la Suisse, réunis à Paris en 1896 pour la revision de la Conférence internationale de Berne sur le transport des marchandises par chemin de fer, l'ont également appelé au fauteuil de la présidence.

XV. — Rôle à l'Exposition universelle de 1889.

A l'Exposition universelle de 1889, M. Picard a été désigné par le suffrage de ses collègues pour présider les Comités d'admission et d'installation de la classe du matériel des chemins de fer, ainsi que du groupe de la Mécanique et de l'Électricité (Exploitation des mines et Métallurgie; Exploitations rurales et forestières; Matériel et procédés

des usines agricoles et des industries alimentaires; Arts chimiques, Pharmacie, Tannerie; Mécanique générale; Machines-outils; Filature et corderie; Tissage; Matériel de la couture et de la confection des vêtements; Papeterie, Teinture, Impressions; Machines, instruments et procédés usités dans divers travaux; Carrosserie; Chemins de fer; Électricité; Matériel et procédés du Génie civil, des Travaux publics et de l'Architecture; Hygiène et Assistance publique; Matériel de la navigation de commerce et du sauvetage; Matériel et procédés de l'art militaire).

Il a aussi présidé le jury de la classe des Chemins de fer, puis celui du groupe de la Mécanique et de l'Électricité et siégé, à ce dernier titre, dans le jury supérieur.

C'est encore sous sa présidence qu'a été organisée l'Exposition rétrospective des Moyens de transport (Transports par voie de terre; Navigation fluviale; Navigation maritime; Transports par voie de fer; Aérostation), exposition qui réunissait un millier d'objets, de modèles et de dessins, notamment les premières locomotives de George Stephenson, le modèle de la première chaudière tubulaire de Marc Séguin, une collection aérostatique remarquable, etc.

Il a pris, comme membre de la Commission supérieure, une part active à l'organisation des Congrès et Conférences.

Investi des fonctions de Rapporteur général du jury, il a eu non seulement à diriger la publication des rapports spéciaux de classes, mais aussi à rédiger personnellement un rapport d'ensemble qui ne comprend pas moins de dix volumes.

Le premier volume est consacré à un aperçu de l'industrie avant la fin du XVIIIe siècle et à l'historique des Expositions universelles tenues en France ou à l'étranger avant 1889. Dans les Tomes II et III sont décrits les travaux et l'exploitation de l'Exposition. Les autres volumes constituent une revue des diverses branches de l'activité humaine dans leur histoire, leur philosophie, leurs évolutions successives et leurs manifestations en 1889. Une place considérable y a été réservée à l'enseignement et aux sciences appliquées.

Parmi les sujets traités, ayant des rapports plus particulièrement étroits avec la Science, il convient de mentionner : l'Agriculture, l'Aquiculture et l'Horticulture; les Forêts, la Pêche et les Cueillettes ; les Usines agricoles; la Mécanique générale ; les Machines-outils de toute nature; les Chemins de fer ; la Navigation; l'Exploitation des Mines et la Métallurgie ; la Chimie ; l'Électricité ; les Instruments de précision ; l'Horlogerie ; la Géographie, la Topographie, la Cosmographie ; la Photographie ; la Médecine et la Chirurgie ; l'Hygiène ; le Chauffage et la Ventilation ; l'Art militaire.

L'auteur s'est efforcé de faire du rapport général une sorte d'encyclopédie condensée fixant à grands traits l'état des connaissances humaines vers la fin du XIXe siècle. Son souci constant a été la précision et l'exactitude. Sachant combien peu sont lus de nos jours les ouvrages de longue haleine, il a présenté, comme conclusion, un Résumé des progrès du siècle.

Au rapport s'est ajoutée une monographie de l'Exposition en deux volumes de texte et deux albums, que M. Picard a été chargé de terminer et de publier après la mort de l'éminent directeur général des travaux, M. Alphand.

XVI. — Présidence de la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction
(1890-1901).

Depuis longtemps déjà, un grand nombre de techniciens, d'ingénieurs, de constructeurs, avaient signalé l'intérêt scientifique et pratique qui s'attacherait à unifier, autant que possible, les méthodes d'essai des matériaux de construction et à choisir des unités rendant facilement comparables les résultats obtenus par les divers expérimentateurs. Les méthodes en usage appelaient, d'ailleurs, manifestement des améliorations ou des compléments.

En ce qui concerne les métaux, les essais usuels consistaient en des épreuves de résistance et d'allongement à la traction, faites sur une

éprouvette de dimensions convenables. Au début, on se contenta de fixer solidement l'éprouvette à sa partie supérieure, de suspendre un plateau à sa partie inférieure et de charger progressivement ce plateau au moyen de poids. Dans sa rusticité première, ce procédé exposait à de graves erreurs, ou tout au moins pouvait conduire à des constatations très divergentes, en raison des à-coups, des saccades résultant de l'addition successive des poids ou du remplacement des poids divisionnaires par un poids unique équivalent. On imagina donc des moyens d'augmenter d'une manière régulière et continue l'effort de traction, des indicateurs faisant connaître avec précision, à un instant quelconque, la force agissant sur le métal. Il fallait comparer et apprécier les solutions nouvelles, rechercher les meilleurs dispositifs. Il était nécessaire aussi de préparer un accord sur la longueur des éprouvettes, eu égard à l'influence que l'allongement local vers la région de rupture exerce sur le calcul du coefficient d'allongement.

Pour les chaux et ciments, les constatations relatives à la résistance de ces matériaux présentaient une extrême variété selon la forme, les dimensions et le mode de confection des briquettes d'essai.

Ces exemples montrent assez l'importance et l'étendue de la tâche dévolue à la Commission qui fut instituée par décret du 9 novembre 1891 et que M. Picard a été appelé à présider.

La Commission a tenu deux longues sessions, d'où sont sortis des travaux remarquables et dont le compte rendu a été publié en dix Volumes.

Au cours de la première session, les études relatives aux métaux ont porté sur les essais physiques, chimiques et mécaniques. Les essais physiques comprennent : l'examen physique du métal, soit par la vue, à l'œil nu ou au moyen d'appareils micrographiques, soit par le son, sensibilisé le cas échéant; la détermination de constantes caractéristiques, telles que la densité, la conductibilité thermique et la conductibilité électrique; enfin la recherche des températures critiques et des variations d'état produites par le chauffage, par le refroidissement, par

la trempe. Les essais chimiques donnent, sur la pureté des métaux et sur la composition des alliages, les indications les plus précieuses; ils révèlent avec certitude la présence des matières étrangères, même en proportion infinitésimale, ainsi que les plus faibles variations dans le dosage des éléments constitutifs du métal; aux essais chimiques se rattachent les essais de corrosion et les essais d'adhérence des revêtements protecteurs. Quant aux essais mécaniques, regardés souvent comme les moyens d'épreuve par excellence, on les répartit en cinq classes : essais de résistance à un effort de déformation gradué (traction, compression, flexion, pliage et cintrage, torsion, cisaillement et poinçonnage); essais de résistance à un effort de déformation brusque ou par choc (flexion, pénétration superficielle, perforation); expériences sur la dureté, la fragilité ou la plasticité; essais de façonnage à froid et à chaud; essais particuliers sur certaines pièces finies, comme les fils métalliques, les câbles, les chaînes, les rivets, les tuyaux, et essais à la pression hydraulique. Chacun des essais a donné lieu à un rapport et à des propositions.

En ce qui concerne les matériaux autres que les métaux, la Commission s'est d'abord limitée aux matériaux d'agrégation des maçonneries : ciments, chaux, pouzzolanes, sables et plâtres. Pour ne citer qu'un exemple, celui des ciments, elle a traité des questions suivantes: finesse de mouture, poids spécifique, densité apparente; analyse chimique; essais d'homogénéité; confection du mortier normal; essais de prise, de rupture par traction, compression ou flexion; épreuves de déformation; rendement; essais de porosité, de perméabilité, de décomposition par l'eau de mer, d'adhérence.

Dans une deuxième session, close à la veille de l'Exposition de 1900, la Commission s'attacha à combler les lacunes de ses travaux antérieurs. Ne s'arrêtant pas aux limites du cadre, en apparence modeste, qui lui avait été tracé, elle fut conduite aux considérations de l'ordre le plus élevé, sur la constitution des matériaux de construction. On y trouve le germe d'une rénovation possible des théories actuelles de la mécanique appliquée. Des savants de générations différentes se sont

rencontrés à cet égard et ont creusé ensemble un sillon d'où jaillira peut-être une abondante moisson.

Les recherches de la Commission lui ont, d'ailleurs, inspiré d'instructives réflexions sur les divisions admises entre les divers produits de la nature et de l'industrie. Ces divisions commencent à paraître quelque peu factices. Au fur et à mesure que nos connaissances deviennent moins superficielles et que nous pénétrons l'essence des choses, les classements dichotomiques en vigueur perdent de leur valeur dogmatique ; les frontières s'effacent ; il semble qu'au lieu de se répartir en catégories bien distinctes, les matériaux de construction forment des séries continues s'entrelaçant les unes les autres.

Toutes les propositions formulées par la Commission sont demeurées fidèles à l'admirable système métrique dont la France revendique avec une légitime fierté la glorieuse initiative et qui a si bien justifié la devise : « A tous les temps, à tous les peuples », inscrite sur la médaille commémorative de son institution.

Ainsi ont été préparés la participation et le beau succès de la France au Congrès international tenu en 1900, sous la présidence de M. Haton de la Goupillière.

XVII. — Commissariat général de l'Exposition universelle de 1900 (1893-1901).

L'Exposition universelle internationale de 1900 est encore trop vivante dans le souvenir de tous pour qu'il soit utile d'en parler longuement.

Son importance et son étendue suffisent à dire l'ampleur de la tâche accomplie pour la conception des projets, leur défense devant les Pouvoirs publics, la réalisation des ressources nécessaires, l'exécution des travaux, la mise en mouvement des exposants, la coordination de leurs efforts, les accords avec les Commissaires généraux étrangers, l'administration de l'entreprise au milieu de difficultés chaque jour renaissantes.

Dans l'organisation générale de l'Exposition, la préoccupation

constante de M. Picard a été de lui imprimer une allure scientifique, d'en faire une œuvre d'éducation et d'enseignement, de ne pas en laisser dénaturer le caractère par le développement excessif des manifestations de pure attraction qui, pour y avoir leur place marquée, n'en devaient pas moins être contenues et limitées.

La classification a été remaniée dans des vues rationnelles et philosophiques, suivant les principes dont s'était inspiré Le Play, pour l'Exposition de 1867.

Partout, le matériel et les procédés se juxtaposaient aux produits correspondants; les machines étaient, d'ailleurs, mises en fonctionnement sous les yeux du public. Ainsi les visiteurs ne passaient plus à côté des engins et des appareils sans en soupçonner l'action et quelquefois même l'objet, ni à côté des produits sans se rendre compte de leur fabrication. Ils trouvaient dans les galeries la plus belle et la plus vaste leçon de choses: l'instruction leur venait sans qu'ils la recherchassent. Cette réforme capitale des errements anciens a pu être réalisée grâce aux ressources nouvelles fournies par l'électricité pour le transport de l'énergie : n'étant plus liés par les sujétions inhérentes à l'emploi des grands arbres de couche et des longues conduites de vapeur, les organisateurs échappaient à l'obligation de grouper dans un même palais l'ensemble des appareils mécaniques et de les séparer, par suite, des produits. L'usine électrogène envoyait le courant et la force, par un immense réseau de fils conducteurs, jusqu'aux points les plus reculés de l'enceinte.

A l'exposition contemporaine était jointe une exposition rétrospective, généralement centennale. Au lieu d'être concentrée et de n'attirer que les érudits ou les chercheurs, cette exposition était répartie entre les groupes et les classes; elle s'imposait dès lors à la masse du public et contribuait à son instruction. Chaque groupe et autant que possible chaque classe avait pour vestibule une sorte de musée où quelques repères convenablement choisis marquaient les principaux progrès réalisés depuis 1800. La plupart des musées centennaux présentaient pour la science un intérêt de premier ordre.

Dès l'origine, le Commissaire général s'était proposé de mettre les circonstances à profit pour doter Paris d'améliorations et d'embellissements qui ne fussent pas indignes de l'héritage des précédentes générations. Les travaux furent donc divisés en deux catégories : travaux définitifs, destinés à survivre; travaux provisoires, ne constituant pour la plupart qu'un décor et devant disparaître après 1900.

A la première catégorie se rattachent les deux palais des Champs-Élysées, l'avenue et le pont Alexandre III. Cet ensemble supporte la comparaison avec la place de la Concorde, et la perspective de l'Hôtel des Invalides vu des Champs-Élysées constitue l'une des merveilles de Paris. La charpente métallique du Grand Palais et l'ossature du pont Alexandre III peuvent, d'ailleurs, être considérés comme des modèles de robuste légèreté.

Parmi les travaux définitifs, on peut citer aussi la substitution de ports droits aux anciens ports de tirage de la Seine entre le pont de la Concorde et le pont d'Iéna. Il y a là, au point de vue de la navigation comme au point de vue esthétique, une amélioration considérable, dont la valeur, jointe à celle du Grand Palais et du pont Alexandre III, dépasse notablement la subvention de 20 millions donnée par l'État à l'Exposition.

Les serres du Cours-la-Reine enrichissent également la capitale de jardins d'hiver qui, jusqu'alors, lui faisaient défaut.

Quant aux travaux provisoires, il n'en restera bientôt plus de trace. Mais personne n'a oublié l'incomparable quai des Nations, où se marièrent, dans un ensemble harmonieux, les types caractéristiques des diverses architectures du monde, et qui transformait le fleuve en un magnifique canal vénitien : rien de plus beau que ce quai sous un ciel bleu et un soleil étincelant; rien de plus poétique par un clair de lune argenté; rien de plus brillant en une soirée d'illumination embrasant les eaux de ses feux !

Personne, non plus, n'a oublié l'imposante ordonnance du Champ de Mars, son Château d'eau, la dentelle lumineuse du Palais de l'Électricité, la salle des Illusions, le pittoresque assemblage des

pavillons coloniaux au Trocadéro, la plate-forme roulante, etc.

L'art de l'ingénieur a fait de véritables conquêtes aussi bien dans les travaux provisoires que dans les travaux définitifs. C'est ainsi que le pont Alexandre III a engendré la première application de l'acier moulé et usiné aux ouvrages de cette nature, application couronnée du succès le plus complet. Dans les palais, ponts et passerelles, l'acier laminé s'est entièrement substitué au fer ; cette substitution a procuré à la fois légèreté et économie; il était, du reste, impossible d'entreprendre une expérience plus concluante, puisqu'elle portait sur 55,000^{t} de métal, employé sous des formes d'une extrême variété.

Une expérimentation particulièrement féconde a été celle du ciment armé pour des constructions où des efforts de toute espèce, flexion, traction, compression, torsion, entraient en jeu. On pouvait redouter l'oxydation du métal, la désagrégation des ouvrages sous l'action de la chaleur ou du froid. Ces craintes ne se sont pas réalisées et les résultats, sans être décisifs, eu égard à la durée restreinte de l'Exposition, n'en ont pas moins été très satisfaisants, pourvu que le métal fût judicieusement réparti et le béton soigneusement confectionné. L'Administration a procédé, soit avant l'ouverture de l'Exposition, soit après sa clôture, à des épreuves multiples qui ont révélé dans le ciment armé une étonnante raideur élastique.

L'immense usine électrogène installée au Champ de Mars était alimentée par des batteries de générateurs dont la surface de chauffe atteignait 16700$^{m^2}$ et la puissance horaire de vaporisation 235000^{kg}. Ces chaudières desservaient des moteurs d'une puissance totale de 36100 chevaux. La puissance disponible des machines dynamo-électriques dépassait 20000 kilowatts. Abstraction faite de la télégraphie, de la téléphonie, des réseaux d'avertisseurs, les câbles conducteurs avaient un développement de 60^{km}, dont 20^{km} pour le courant continu, 40^{km} pour le courant alternatif. L'éclairage électrique comportait 3300 lampes à arc et 40000 lampes à incandescence.

Dans le domaine des installations mécaniques, il convient de mentionner spécialement les robustes engins de levage dont était pourvue

la galerie des groupes électrogènes, ainsi que les chemins élévateurs et les ascenseurs de types divers répartis au Champ de Mars et à l'Esplanade des Invalides.

Jamais il n'y avait eu, et il n'y aura certainement pas de longtemps, un tel ensemble de Congrès internationaux. Ces Congrès laisseront une trace ineffaçable, non seulement par leurs discussions, mais encore et surtout par les admirables collections de Rapports auxquels ils ont donné naissance et par les relations qu'ils ont créées ou resserrées entre les savants du monde.

Un dernier exemple attestera les tendances scientifiques des organisateurs de l'Exposition. Sur la proposition du Commissaire général, le Ministre du Commerce a institué une Commission d'hygiène et de physiologie chargée de suivre les concours d'exercices physiques et de sports, de chercher par des méthodes précises les effets des différents exercices sur l'organisme et d'en comparer la valeur au point de vue de l'hygiène. L'éminent président de cette Commission, M. le Dr Marey, a consigné les résultats de ses observations dans un savant Rapport récemment présenté à l'Académie des Sciences.

XVIII. — Commissions diverses.

Indépendamment du Comité consultatif des Chemins de fer et de la Commission de vérification des comptes, M. Picard préside un certain nombre d'autres Commissions permanentes :

— Commission mixte des Travaux publics, siégeant au Ministère de la Guerre et appelée à concilier ou à départager les intérêts des divers départements ministériels en matière de travaux publics civils ou militaires;

— Commission des valeurs de douane, qui, outre l'évaluation des marchandises à l'entrée ou à la sortie du territoire, établit, chaque année, un long rapport sur l'état de la production;

— Commission de contrôle de la circulation monétaire, qui vérifie annuellement la conformité du poids et du titre des monnaies avec le poids et le titre fixés par la loi.

Il fait également partie de Conseils ou Comités, tels que le Comité consultatif des Arts et Manufactures et le Conseil supérieur de l'Agriculture.

XIX. — Publications.

1° Nombreux Mémoires techniques dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (Médaille d'or);

2° *Alimentation du Canal de la Marne au Rhin et du Canal de l'Est* (1 Volume et 1 Atlas);

3° *Histoire des Chemins de fer français* (6 Volumes);

4° *Traité des Chemins de fer* (4 Volumes);

5° *Rapport général sur l'Exposition Universelle de* 1889 (10 Volumes);

6° *Monographie de l'Exposition Universelle de* 1889 (2 Volumes et 2 Atlas);

7° *Traité des Eaux* (4 Volumes, dont un avec la collaboration de M. Colson, Conseiller d'État, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées).

Une partie de ces Ouvrages ont un caractère purement technique et contiennent notamment des calculs nombreux d'hydraulique ou de résistance des matériaux.

D'autres sont plus spécialement administratifs et économiques, mais abordent néanmoins des questions multiples touchant à l'art de l'ingénieur.

M Picard rédige, en outre, pour différentes Commissions, des Rapports annuels qui sont ensuite, soit insérés au *Journal officiel*, soit publiés en Volumes.

Il prépare actuellement le manuscrit d'un long Rapport technique sur l'Exposition universelle de 1900, qui formera la matière de plusieurs Volumes, et une Introduction d'ensemble aux Rapports généraux ou spéciaux du Jury.

XX. — Titres divers.

Depuis plusieurs années, M. Picard est le doyen de grade des Inspecteurs généraux de 1[re] classe des Ponts et Chaussées.

Il appartient, comme Membre d'honneur, à plusieurs Sociétés savantes étrangères, notamment à l'Institut des Ingénieurs civils de Londres; cet Institut n'a que 18 membres honoraires, dont un seul Français.

31044 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.

VOUTES BIAISES: SIMPLIFICATION DE L'APPAREIL ORTHOGONAL CONVERGENT

